

ÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DER KARSTDOLINEN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES MIKROKLIMAS

ILONA BÁRÁNY

Die Erforschung der Karstgebiete lenkte gleichzeitig das Augenmerk auf die Frage nach der Entstehung und Entwicklung von Dolinen. Schon zu Beginn dieser Forschungen formulierte sich die bis in die Gegenwart wirksame Auffassung, nach der Dolinen infolge von Höhlendeckeneinbrüchen entstanden sein sollen (*W. Zippe, E. Tietze*).

Zu Beginn unseres Jahrhunderts wurde die Entstehung der Dolinen von namhaften Karstforschern (*J. Cvijic, A. Grund, F. Katzer*) mit der Erosionstätigkeit des Wassers in Zusammenhang gebracht. Weiterentwickelt ließ diese Auffassung auch schon damals erste Bestrebungen erkennen, die Korrosionsvorgänge auf der Karstoberfläche mit Klima- und ökologischen Faktoren in Verbindung zu bringen (*K. Terzaghi, J. Cvijic*).

Die moderne Theorie über die Karstentwicklung stammt von H. Lehmann, der als konsequenter Vertreter der klimatologischen, karstmorphologischen Schule eine klimaspezifische Erklärung der Karstphänomene gab. Die von ihm ausgearbeiteten Direktiven für die Karstforschung gelten noch immer als richtungsweisend. Er hält es für notwendig, die Kenntnisse über Karsthydrographische Systeme unter Berücksichtigung der verschiedensten Klimabedingungen zu vertiefen. Er spricht sich auch für die Klärung der Frage aus, welche Rolle biogenes Kohlendioxyd dabei spielt und hält die Untersuchung der petrographischen Bedingungen der verschiedenen Klimazonen für wichtig.

Die moderne Dolinenforschung zeichnet ein sehr vielfältiges Bild. Sie umfaßt Untersuchungen gesteinsbedingter Modifikationen in der Dolinenentwicklung (*A. Bögli, M. M. Sweeting, P. Groschopf, H. U. Kobler*), chemische Analysen der Karstkorrosion (*K. Priesnitz, S. T. Trudgill*) u. Kohlendioxyduntersuchungen, das für die Bodenkorrosion von Bedeutung ist (*A. Gerstenhauer, L. Jakucs, F. D. Miotke, I. Gams*).

Zahlreiche Ökologische Faktoren beeinflussen die Entstehung und Entwicklung von Dolinen, einer der häufigsten Oberflächenformationen in Karsten der gemäßigten Zone. So spielt das Mikroklima eine sehr wichtige Rolle und in enger Wechselwirkung damit stehen die Prozesse, die sich in dem das Gestein bedeckenden Erdboden abspielen. Es beeinflußt die sich im Boden vollziehenden Bioprozesse und im Zusammenhang damit entsteht die Denudationsdynamik der unter dem Erdboden wirkenden Korrosion.

Die biogenen Faktoren sind zwar für die Entstehung der Dolinen von definitiver Bedeutung, doch muß dem hinzugefügt werden, daß diese Faktoren weder vom Relief, noch von den strukturellen und mikrotektonischen Gegebenheiten des Basisgesteins unabhängig sind, und daß die Formen weitgehend auch Ausdruck des Wirkungszeitraums sind.

Durch die in erster Linie genetische, auf quantitativem Grund beruhende Qualifizierung der partiellen ökologischen Faktoren, wird eine genaue Darstellung der Entstehung von Dolinen möglich, wobei auch die Ursachen der assymetrischen Dolinenentwicklung überzeugend erklärt werden können.

Die Untersuchungen gehen von der Hypothese aus, daß die Korrosionswirkung des Wassers wichtigster denudativer Faktor für karbonatisches Gestein ist und deshalb die Frage, wie das Wasser zu dem korrosionsfähigen Gestein dringt, bzw. in welchem Maße es durch Verdunstung und Transpiration mengenmäßig abnimmt, von entscheidender Bedeutung ist. Durch den von Ort und Zeit abhängigen Chemismus des Wassers (besonders durch Kohlendioxyd, das Wasser als Lösungsmittel aggressiviert und auch durch die Menge der organischen Säuren) wird die Korrosion des karbonatischen Gesteins auch innerhalb eines jeweiligen Gebietes differenziert.

Auch wichtig ist die chemische Zusammensetzung des Basisgesteins, doch treten auch im Prozess der Denudation Unterschiede auf und zwar je nach Gesteinsschichtung, Kristallstruktur, Rissigkeit und Art und Grad der postsedimentativen Entwicklung. Es darf auch nicht als gleichgültig gelten, wie das Relief ursprünglich gewesen und in welcher Schicht die Denudation wirksam ist.

Die wichtigsten, die Verkarstungsintensität differenzierenden Faktoren erdbeckter Karste sind die klimatischen Gegebenheiten des jeweiligen Gebietes, deren Wirkung am Boden erkennbar ist. Stärke, Durchlässigkeit, Textur und Struktur einer Bodenschicht, ihre chemischen Merkmale haben also eine bestimmende Funktion im denudativen Prozess.

Im Erdboden leben Millionen von Mikroorganismen, durch die organische Stoffe abgebaut werden. Durch die Stoffwechselprodukte verändern sich die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Erdbodens, sie beeinflussen die Zusammensetzung der Bodenluft und des Grundwassers und haben so indirekt Einfluß auf den Denudationsprozess. Die Makroflora wirkt indirekt — über die Wurzelatmung, durch die sich die Zusammensetzung der Bodenluft verändert — auf die Denudationsintensität. Die Mikro- und auch die Makroflora sind in einer komplizierten Wechselwirkung von den klimatischen Gegebenheiten abhängig, d. h. in erster Linie von der Niederschlagsmenge und den Temperaturverhältnissen, da diese Faktoren Einfluß auf die Herausbildung verschiedener Bodentypen in den einzelnen Bereichen der Pedosphäre haben.

Die Konkurrenzfaktoren der Denudation müssen auf alle Fälle beachtet werden, so vor allem die Umlagerung der Verwitterungsprodukte, die zunehmende Auffüllung der Dolines u. s. w. Eine Untersuchung über die Entstehung von Dolinen muß sich aber mehr im Detail mit den Faktoren befassen, die sich auf die Denudation auswirken.

Zu Beginn meiner Forschungen im Bükkgebirge stand das Sammeln von Angaben zur Bestimmung der morphometrischen Parameter der Dolinen und von Daten über das Mikroklima, die nach mehrjähriger Basisarbeit ausgewertet wurden. (Ich habe selbst länger als ein Jahrzehnt an den Forschungsarbeiten R. Wagners teilgenommen.) Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen erhielt ich nach der Auswertung von vor

Ort genommenen Bodenrproben. Sie wurden auch zur quantitativen Populationsbestimmung der Mikroflora und des Bodenfeuchtigkeitsgehaltes verwendet. Um den Aufbau der Makroflora skizzieren zu können, habe ich in verschiedenen Dolinen Baum- und Pflanzenbestimmungen durchgeführt. Bei der Auswertung der gesammelten Angaben, wurden nicht nur spezifisch geomorphologische, sondern vor allem solche Auswertungsmethoden angewendet, die sich in Nachbardisziplinen, wie der Mikroklimatologie, Karthographie, der Bodenkunde, Mikrobiologie und der Pflanzengeographie bewährt haben.

Die Angabensammlung und die angewandten Methoden wurden dem Aspekt der genetischen Prozess-Form Einheit Qualifizierungsmöglichkeit untergeordnet.

In der Dolinenforschung ist es heute wegen der Vielfalt lokaler genetischer Inspirationen, wegen der komplizierten Wechselwirkungen von Wirkungsfaktoren eines sich in Raum und Zeit verändernden sensiblen Systems noch nicht möglich, jedes Detail dieses Themenbereiches mit gleicher Exaktheit zu erfassen.

Für die Ökologieforschung und eine Einschätzung der natürlichen Umwelt liefert die Kenntnis der Mikroklimasysteme in Karstdolinen neues Material.

Das Mikroklimatische System in den Dolinen

Die Formen der Oberfläche, so auch die Entwicklungsprozesse von Dolinen sind grundsätzlich von Klimafaktoren abhängig. Wie wir schon erwähnt haben, entsteht die Makroflora, wie auch die Zusammensetzung u. die Biotätigkeit der Mikroflora und Fauna des Bodens in Zusammenhang mit den Veränderungen klimatischer Faktoren und das hat differenzierende Auswirkungen auf die Kohlendioxydproduktion im Boden. Der Kohlendioxydgehalt der Bodenluft beeinflusst indirekt über das Lösungsmittel Wasser die Intensität der Kalksteinkorrosion.

Obige Faktoren sind kettenartig miteinander verknüpft und die durch ihr gesamtes Wirken entstandene Mikroform wirkt auf die für die Einheit charakteristische, diese bestimmende Bildung des Mikroklimas zurück.

Wichtigster Klimafaktor für jedes Gebiet sind die Strahlungsenergie der Sonne, die Eigenschaften der die Sonnenstrahlen auffangenden Oberfläche und ihre Qualität, sowie die Luftströmungen, durch die diese Wirkungen übertragen werden.

Der Energiebetrag der Sonnenstrahlung hängt bei dem jeweiligen Territorium von der geographischen Breite, der Sonnenscheindauer bzw. von der Bewölkung und der Horizontführung ab. Durch die geographische Breite ergibt sich der maximale Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zur Oberfläche, der bei bergigem Oberflächenprofil infolge der Expositionswirkung des Reliefs starke Abweichungen zeigt. Hier muß man neben dem Mittagsstand der Sonne ihre Bahnabweichung, die im Laufe eines Jahres gewisse Änderungen zeigt (Sonnenbreite) berücksichtigen. Hinsichtlich der Mikroklimata verschiedener Expositionen ist vor allem wichtig, an welchem Punkt des Horizonts sich die Sonne bei Sonnenaufgang und-untergang befindet.

Der Expositionseffekt zählt vor allem in der Einstrahlungsperiode. Die sonnenzugewandte Seite liegt — wie sich von selbst versteht — im direkten Sonnenlicht, während, auf der von der Sonne abgewandten Seite, das Licht diffus ist. Die Lichtmenge ändert sich mit der Höhe, direktes Licht in direktem, diffuses Licht im reziproken Verhältnis.

Die Neigung des Abhanges modifiziert die pro Flächeneinheit anfallende Energiemenge. Je mehr ein Abhang nach Norden gelegen und je steiler er ist, um so größer wird das deshalb auftretende Lichtdefizit. Bei südlicher Exposition verhält es sich gerade umgekehrt.

Von E. Hoeck wurde 1952 das Diagramm für die Sonnenlichtbestrahlung in allen vier Himmelsrichtungen skizziert. Der Meßort befand sich in 1600 m über dem Meeresspiegel, $46^{\circ}30'$ n. Br. der Abhang hatte eine Neigung von 25%. Die andere Messung wurde zu ebener Oberfläche durchgeführt. (Abb. 1.).

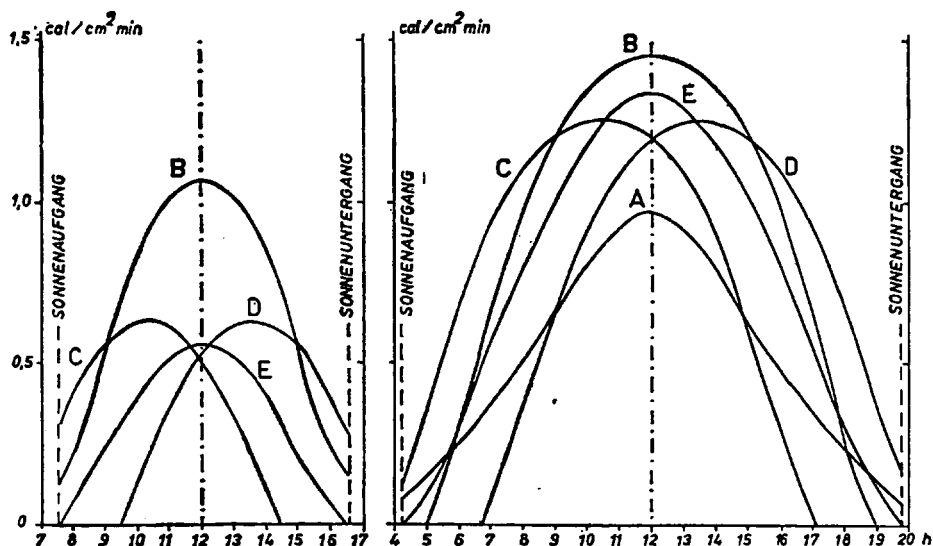


Abb. 1. Tagesdiagramme der Sonnenstrahlung auf Horizontalflächen (E), Süd- (B), Ost- (C), West- (D) und Nordhängen (A) mit 25° Neigung am 16. I. und 15. VI. für $46^{\circ}30'$ nördl. Breite und 1600 m. ü N. N. (nach E. Hoeck, 1952).

Der Strahlungsbetrag pro Tag und Jahr ist natürlich an Hängen mit südlicher Exposition am größten. Allerdings sind im Januar und im Juli Hänge mit östlicher Exposition in der Zeit vom Sonnenaufgang bis 9.00 Uhr hinsichtlich des Sannelichtes günstiger gelegen, als Hänge mit südlicher Exposition. (Diese Feststellung ist, wie noch deutlich werden wird, von großer Bedeutung für die Dolinen.) Am Nachmittag erhalten Hänge mit westlicher Exposition das meiste Sonnenlicht. Im Juli fällt in den frühen Morgenstunden und in den Abendstunden auf Hänge mit nördlicher Exposition mehr Sannelicht, als auf Hänge mit südlichem Lichteinfall.

Lage und Neigungswinkel des Hanges sind für die Verteilung der Schattenbildung im Lauf eines Tages, bzw. Jahres ausschlaggebend. In Tälern oder Depressionen an der O—W Achse zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Sonnen- und Schattenseite. In Tälern an der N—S Achse erhalten beide Hänge die gleiche Sonnenscheinmenge, doch zeigt sich im Verlauf eines Tages eine gewisse Abweichung, da die Ostseite am Morgen, die Westseite am Nachmittag mehr Sonnenlicht erhält. Da am Nachmittag die Luft stärker verschmutzt ist, als am Morgen, müssen die Sonnenstrahlen nicht nur den längeren Weg zurücklegen, sondern auch die verunreinigte

Luft durchdringen, was einen gewissen Energieverlust verursacht. Die Schattenbildung ist in abgeschlossenen Depressionen am größten. Zu ihnen zählt man auch die Dolinen der Karste.

Die Expositionswirkung ist in Bezug auf Mikroräume auch deshalb wichtig, weil der lokale Luftaustausch in den Dolinen, die als abgeschlossenen Depressionen gelten, zu Mikroklimaverhältnissen führt, die von der Umgebung abweichen. Zum Exempel habe ich die Energiemenge berechnet, die an einem heiteren Augusttag in einer Doline des Bükkgebirges bei nördlichem und südlichem Lichteinfall und unterschiedlichem Hanganstieg pro Flächeneinheit anfällt. (Bárány 1967)

Tabelle 1

	Hang mit südl. Exposition	Hang mit nördl. Exposition
3 m	14°	18°
6 m	22°	33°
9 m	26°	24°
12 m	18°	—

Die positive Sonnenbreite betrug 25°, die durchschnittliche Extinktion aufgrund mehrerer Messungen 3,1. Mit Hilfe dieser Angaben habe ich die Energiemenge pro Stunde für eine Flächeneinheit bestimmt und auch berechnet, wieviel Energie auf einen Quadratmeter kommt, wenn man die Gesamtdauer der Sonnenlichtbestrahlung zugrunde legt.

Tabelle 2

	Hang mit südl. Exp.	Hang mit nördl. Exp.
3 m	23,233 MJ m ⁻²	17,575 MJ m ⁻²
6 m	24,358 MJ m ⁻²	12,902 MJ m ⁻²
9 m	24,086 MJ m ⁻²	13,490 MJ m ⁻²

Der Unterschied im Betrag der anfallenden Energiemenge auf den unterschiedlich gelegenen Hängen ist eindeutig. Er wird bei einer größeren Neigungswinkel — Differenz der Hänge noch größer.

Die Erforschung mikroklimatischer Verhältnisse in Depressionen hat noch keine große Vergangenheit. Bei früheren Forschungen richtete sich die Aufmerksamkeit auf die Untersuchung der Expositionswirkung und auf die makrodimensionalen Gesetzmäßigkeiten bei Kaltluftstauungen in Depressionen. Durch Untersuchungen der Strömungsverhältnisse in der an den Hängen abwärts strömenden dichteren Kaltluft konnte die Konvektionsgeschwindigkeit der Luft bestimmt werden. (B. P. Allisow—O. A. Drosow—E. S. Rubinstein, 1956). Es wurde festgestellt, daß bei gleichbleibenden Abstrahlungsverhältnissen die Kaltluftkonvektion nachtsüber konstant ist. Die Untersuchungen der Expositionswirkung und der Kaltluftstauungen lenkten die Aufmerksamkeit auch auf die Notwendigkeit, die mikroklimatischen Verhältnisse in Geländevertiefungen (Depressionen) zu erforschen.

Die ersten ungarischen Forscher auf diesem Gebiet waren *N. Bacsó* und *B. Zólyomi* (1934), ihr Forschungsbereich war die Hochebene des Bükkgebirges. Unter Berücksichtigung ihrer Arbeit führte *R. Wagner* von 1954 bis 1971 Beobachtungen des Mikroklimas im selben Gebiet durch. Ziel seiner Forschungen war, Aufschluß über die mit natürlichen Pflanzenteppichen bedeckten Abschnitte der Dolinen und über ihre mikroklimatischen Besonderheiten zu erhalten. Ein Teil der Angaben ist von mir bereits unter dem Gesichtspunkt der Theorie über das Mikroklima berücksichtigt worden. Die Grundfrage muß aber aus der Sicht der physischgeographischen Untersuchungen anders gestellt werden, und zwar welche Wirkung vom Mikroklima auf die Entstehung und Ausformung der Dolinen ausgegangen ist.

Das Makroklima im Bükkgebirge

Die Mikroklimauntersuchungen auf dem Bükkplateau wurden in einer Höhe von 700 m über dem Meeresspiegel durchgeführt. Nach *J. Kakas* (1960) gehört das Bükkgebirge in die naßkalte Klimazone mit kalten Wintern und weniger als 50 Sommertagen im Jahr.

Die Bewölkung und die Niederschlagsmenge, wie auch die relative Luftfeuchtigkeit nehmen mit wachsender Höhe über dem Meeresspiegel zu. Innerhalb eines Jahres ist der Himmel dort zu 50—55% bedeckt. Pro Jahr gibt es ca. 80 bis 100 bewölkte und 70 bis 90 Sonnenscheintage. Der Himmel ist im August zu 40% bewölkt, im Dezember zu 65% (*OMI* 1960, 1967).

Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 750 bis 800 mm. Die niederschlagsreichsten Monate sind der Mai und Juni (90 bzw. 100 mm), der Januar und Februar hat am wenigsten Niederschlag (35 bis 40 mm). Berücksichtigt man die Höhe dieses Gebirges, kann festgestellt werden, daß wegen der nördlichen, fönartigen Winde die Gegend relativ niederschlagsarm ist. Der Luftdruck liegt im Jahresdurchschnitt bei 7,0 bis 7,2 mm, im Juli zwischen 11,4 und 11,6 m. Am Nachmittag steigt in der Regel der Luftdruck wegen der Lufterwärmung.

Infolge der Konvektion wird der Wasserdampf in die Höhe geleitet und es bilden sich verhältnismäßig schnell Cumuluswolken.

Im untersuchten Gebiet ist der Kontinentalgrad klein, die jährliche Schwankung der mittleren Monatstemperatur beträgt 20 °C, die Jahresmitteltemperatur liegt bei 7,5 °C oder darunter. Sommers zählt das Bükkgebirge als kühlestes Gebiet in Ungarn, im Winter lassen sich dagegen hier nicht die tiefsten Temperaturen messen. Die mittlere Januartemperatur beträgt —4 °C. Die Kälteperiode ist (hier) länger als in anderen Gegenden Ungarns.

Die mittlere Julitemperatur liegt bei 17 °C. Der Temperaturunterschied zwischen Punkten in verschiedener Höhe über dem Meeresspiegel ist im Sommer groß, im Winter im Verhältnis kleiner.

Die Windfelder stehen in Abhängigkeit zu den orographischen Verhältnissen. Wind aus NW ist mit 19% am häufigsten anzutreffen, Nordwind zu 14%, Westwind zu 11%. Der Anteil der Winde aus anderen Himmelsrichtungen liegt unter 10% (zu 19% Windstille).

Pro Jahr gibt es ca. 1800 Stunden mit Sonnenschein. Mit zunehmender Höhenlage verringern sich die Maxima der Sonnenlichtmenge in den Sommermonaten. Im Winter ist hier die Sonneneinstrahlung größer als im Flachland.

W. Köppen hat dieses Gebiet in den Makroklimabereich des Bükkgebirges eingestuft. *R. Wagner* (1955) nahm an, daß das Mesoklima von dem gleichzeitigen Gebirgs- und lokalem Hochtalklima bestimmt wird. Innerhalb des lokalen Klimas

kommt es durch die orographischen und morphologischen Verhältnisse zur Entstehung von Substraten verschiedener Art, wie auch die voneinander abweichenden Strahlungswirkungen mehrere selbständige mikroklimatische Felder schaffen.

Die Dolinen sind innerhalb der mikroklimatischen Felder ersten Ranges auf Bergwiesen Mikroklimafelder dritten Ranges, an denen sich die Wirkung der Makro- bzw. Mesoklimata erkennen läßt.

Das Spezifische der Lufttemperatur in den Dolinen

Die Wärmeschichtung der Luft, die die Dolinen ausfüllt, verändert sich im Lauf eines Tages auf spezifische Weise. Das läßt sich durch den Vergleich des Temperaturverlaufs in einer Doline und einer Talsohle, die beide in gleicher Höhe über dem Meeresspiegel liegen und die gleichen Geländebedingungen haben, verdeutlichen. Die Talsohle entspricht einer waagerechten Ebene.

An heiteren, sonnigen Tagen lassen sich schon in den frühen Morgenstunden große Unterschiede erkennen. Zwischen 5.00 und 6.00 Uhr steigt die Temperatur in der Talebene um mehr als 10°C , während im selben Zeitraum in der Doline der Temperaturanstieg nur 4°C — 5°C beträgt. Während die Doline weithin im eigenen Schatten liegt, bereitet sich über die Talsohle schon Sonnenschein aus. Die Erwärmung in der Doline wird auch durch das Vorhandensein eines Kaltluftsees verzögert.

Die Erwärmung erfolgt in der Doline am Vormittag rascher, als auf der Talsohle. Deshalb sind die Temperaturmaxima außer in 10 cm über dem Erdboden in allen Luftschichten der Doline zu dieser Zeit größer, als auf der Talsohle.

Da sich über die tieferen Stellen der Doline bald Schatten bereitet, beginnt die Abkühlung hier zeitiger. Die Temperatur fällt stündlich um mehr als 9°C . In der Talsohle beträgt sie nur 3 bis 4°C pro Stunde. Die stärkere Abkühlung fördert das Einsetzen der Konvektion von Kaltluft (Wagner 1964). Die Temperaturabnahme verlangsamt sich nach 20.00 Uhr infolge der Abendtaubildung. Die Minimalwerte sind im Dolinenrund niedriger, als in der Talebene.

Die Lufttemperatur-amplitude ist am Boden der Doline, wenn auch nur um einige zehntel Grad, größer. Der Amplitudenunterschied ist in den bodennahen Luftschichten am geringsten. Die Ursache dafür ist die tagsüber stärkere Erwärmung der Bodenoberfläche im Talgrund und die stärkere Abkühlung des Dolinenbodens bei Nacht. Der Unterschied wird durch die beiden extremen Werte weitgehend ausgeglichen.

In zunehmendem Abstand vom Erdboden ist in der Doline die Erwärmung tagsüber größer als auf der Talsohle, mit dem Amplitudenunterschied verhält es sich ebenso. (3 m vom Erdboden entfernt ist der Temperaturunterschied schon ungefähr 9°C oder größer).

Die aufgeführten Tatsachen beweisen, daß die Dolinen einen von ihrer Umgebung getrennten Wärmehaushalt haben. Tagsüber ergibt sich die Wärmeschichtung aus den lokalen Zirkulationen die durch die Sonneneinstrahlungsdifferenzen verursacht werden, nachts aus der Kaltluftstauung.

Der Temperaturverlauf an den einzelnen Hängen der Dolinen ist je nach Exposition des Hanges unterschiedlich. Messungen habe ich in der Kurtaberger Doline durchgeführt, die in der Verlängerung des Lusta-Tals liegt. Der durch die Exposition verursachte Unterschied zwischen den einzelnen Hängen läßt sich bei der Erwärmung während des Tages und auch bei der nächtlichen Abkühlung erkennen.

Wie bekannt, fällt das Sonnenlicht erst auf die Talsohle und dann auf den nach Norden gelegenen Hang. In den frühen Morgenstunden ist der Überbetrag an Sonnenschein wegen des niedrigen Sonnenstandes am Hang mit nördlicher Exposition

noch unbedeutend. Das Lufttemperaturmaximum verlagert sich dann auf den Hang mit östlicher Exposition. Jetzt kommt es schon zu einem beträchtlichen Mehr an Sonnenschein. Zwischen 8.00 und 9.00 erreicht die Summe der globalen Strahlung an der Seite mit östlicher Exposition (Westhang) einen Wert von $2,688 \text{ MJ/m}^2$. Im selben Zeitraum beträgt der Betrag der Globalstrahlung für den Hang mit Lichteinfall von Westen nur $1,570 \text{ MJ/m}^2$ (*J. Boros—I. Bárány/1975*) Auf den Dolinengrund fällt eine Strahlungsmenge von $1,896 \text{ MJ/m}^2$.

Nach dem kurzen isothermen Zustand wird nach 7.00 Uhr die inverse Wärmeschichtung der Nacht durch die, für den Einstrahlungstyp charakteristische direkte Wärmeschichtung ersetzt und die Temperatur nimmt mit der Entfernung vom Dolinengrund ab. Damit verlagert sich zugleich das Lufttemperaturmaximum in der Doline vom West- zum Nordhang. Von Sonnenaufgang bis 8.00 Uhr ergibt sich am Hang mit Lichteinfall von Süden ein Überschuß in der Temperaturbilanz, der $4^\circ\text{—}5^\circ\text{C}$ beträgt. (Es sei hinzugefügt und muß des weiteren beachtet werden, daß im Falle einer Negativform die Exposition der Hangrichtung entgegengesetzt ist.)

In den Vormittagsstunden stellt sich also am Westhang verhältnismäßig zeitig das Lufttemperaturmaximum ein. Der Kulminationspunkt an diesem Hang wird gegen 10.00 Uhr erreicht. Der Wärmebilanzüberschuß wird in den Morgenstunden jedoch für das Auftrocknen des Morgentaus verbraucht.

Am Nordhang stellen sich die Temperaturmaxima später (zwischen 12.00 und 13.00 Uhr) ein. Zu dieser Zeit wirkt die gesamte auf die Oberfläche gelangende Wärmemenge bei der Erwärmung des Hanges. Der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen ist an diesem Hang gegen 12.00 Uhr am größten und kann 74° betragen, wobei der Einfallswinkel hier — mit Ausnahme in den frühen Morgenstunden — um rund $10\text{—}20^\circ$ größer ist, als an den anderen Hängen.

Tagsüber erhält der Osthang zeitlich den meisten Sonnenschein. Die Maxima stellen sich hier zwischen 13.00 und 14.00 Uhr ein. Die Globalstrahlung wie auch die Maximalwerte der Lufttemperatur sind am Osthang größer als am Westhang.

Am Nord- und Südhang ist der Temperaturverlauf ungefähr gleich, allein mit dem Unterschied, daß die Temperatur am Südhang durchgehend um einige $^\circ\text{C}$ niedriger ist. Die Lufttemperaturmaxima treten hier in Abhängigkeit von der relativen Niveauhöhe bzw. der Horizontbegrenzung zwischen 9.00 und 12.00 Uhr auf.

Die Schattenbildung aus südwestlicher, bzw. westlicher Richtung beginnt um 13.00 Uhr. Das läßt sich an den Temperaturisothermen gut erkennen, da an der Schattengrenze bedeutende Temperaturunterschiede entstehen.

Die Abstrahlung beginnt demzufolge zuerst an der im eigenen Schatten liegenden S—W und W—Seite.

Am Südhang beträgt die Abkühlung pro Stunde mehr als 12°C .

Mit dem Einsetzen der Temperaturinversion (nach 17.00 bzw. 18.00 Uhr) entstehen in klaren Nächten (Abstrahlungstyp) Kaltluftseen (*R. Wagner 1964*). Dort, wo das Geländeniveau am tiefsten ist, ist die Temperatur auch am niedrigsten. Hangaufwärts steigt die Temperatur. Bei Nebel (der in den Bükkdolenen häufig auftritt) stellen sich die Temperaturminima nicht unbedingt auf dem Grund der Doline ein. In der Nähe der mit Nebel ausgefüllten Luftschicht entsteht ein isothermer Zustand, die Minima verlagern sich in Hangrichtung. (*Abb. 2.*)

Wenn man in Gedanken eine Temperatursymmetrieachse durch die Doline zieht, zeigt sich in Richtung Nordhang eine Ausbuchtung. Hier ist der Temperaturgradient kleiner, die Isothermen sind dichter.

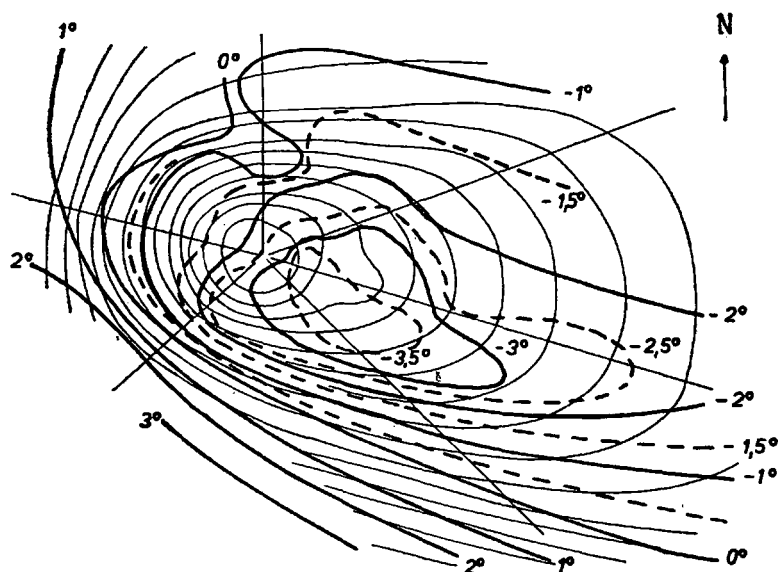


Abb. 2. Die nächtlichen Isothermen bei Nebel in einer Doline.

Mit der Lufttemperatur verändert sich — wie bekannt — auch die Luftfeuchtigkeit (Abb. 3), und zwar in reziprokem Verhältnis. Eine diesbezügliche Untersuchung wurde von J. Gams (1974) in der Mackovaer Doline durchgeführt. Ein Vergleich der Sonnen- und Schattenseite der Doline zeigt im Bezug auf die Luftfeuchtigkeit bedeutende Abweichungen. Die relative Luftfeuchtigkeit reagiert sehr sensibel auf jede kleine Temperaturveränderung. Unsere Beobachtungen haben ergeben, daß der Luftfeuchtigkeitsverlauf an der Nord- und Südseite in der Tendenz übereinstimmen, die Meßwerte selbst aber bedeutende Abweichungen erkennen lassen. Am Südhang ist die relative Luftfeuchtigkeit tagsüber allgemein höher. Das gilt aber nicht für den West- und Osthang. Am Osthang läßt sich beobachten, daß die Luftfeuchtigkeit gegen alle Erwartungen nicht die Temperaturveränderungen in vollem Maße ausdrückt. Das zeigt sich vor allem in den Mittagsstunden. Es hängt wahrscheinlich auch damit zusammen, daß in den Morgenstunden bis hinein in den Vormittag, also ca. von 6.00 bis 11.00 Uhr der Tau verdunstet und daß hier, weil die Sonne sehr zeitig die Oberfläche erreicht, nach der nächtlichen Ruheperiode die intensive Transpiration der Vegetation einsetzt und deshalb der Feuchtigkeitsgehalt der Luft steigt, der Temperaturanstieg aber wegen des Wärmeentzuges beim Abtrocknen des Taus nicht entsprechend ist. Die relative Luftfeuchtigkeit ist am Osthang niedriger. Die relative Luftfeuchtigkeit der Luftschicht über dem Erdboden beeinflußt den Bodenzustand und wirkt auf die Transpiration der Vegetation.

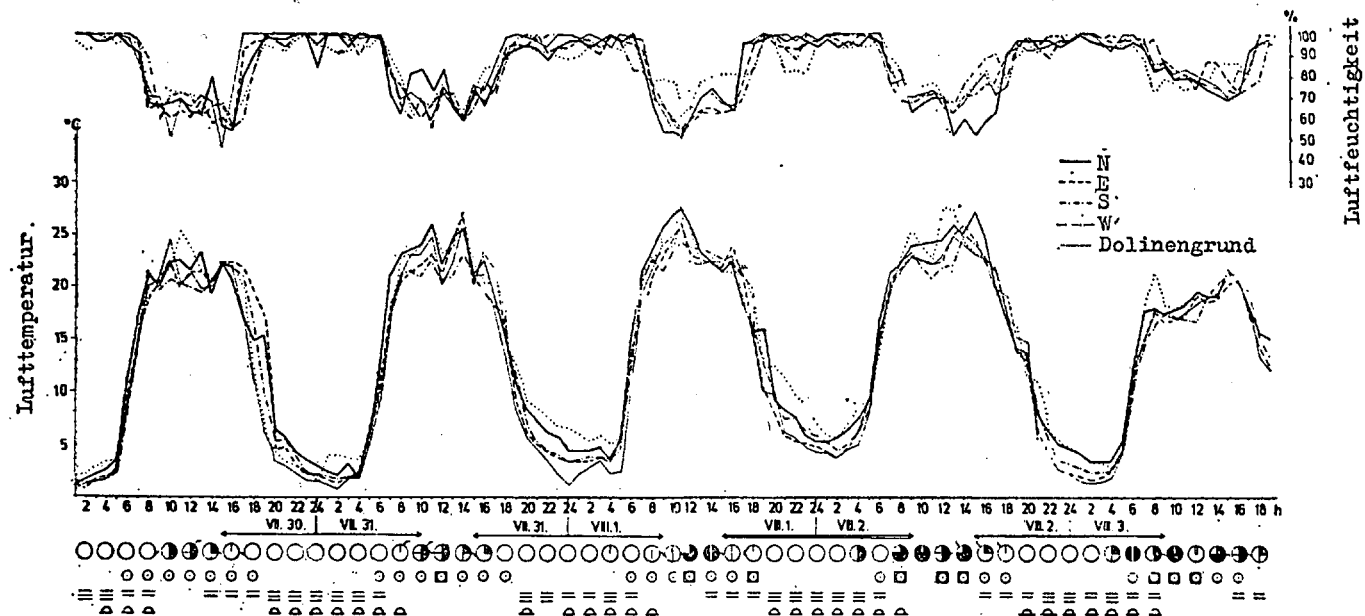


Abb. 3. Der Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsverlauf in einer Doline in einigen klaren Sommertagen

Der Bodentemperaturverlauf

Mit Hilfe der Kenntnisse über die Lufttemperaturverhältnisse in Dolinen läßt sich auch der Verlauf der Bodentemperatur verstehen, denn die Luftschicht über dem Erdboden wirkt direkt auf die Erwärmungs- und Abkühlungsprozesse im Erdreich. Die von der Sonne stammende kurzwellige elektromagnetische Strahlung wird an der Erdoberfläche in Wärmeenergie umgewandelt. Desweiteren bestimmen Feuchtigkeitszustand, Textur und Struktur, wie auch die Vegetation den Charakter der im Erdboden vor sich gehenden Prozesse, bei denen Wärme ausgetauscht wird.

Wir haben den Tagesverlauf der Bodentemperatur in 2, 5, 10, 20 und 30 cm Tiefe gemessen und haben, un zufällige, singuläre (oft subjektiv bedingte) Abweichungen

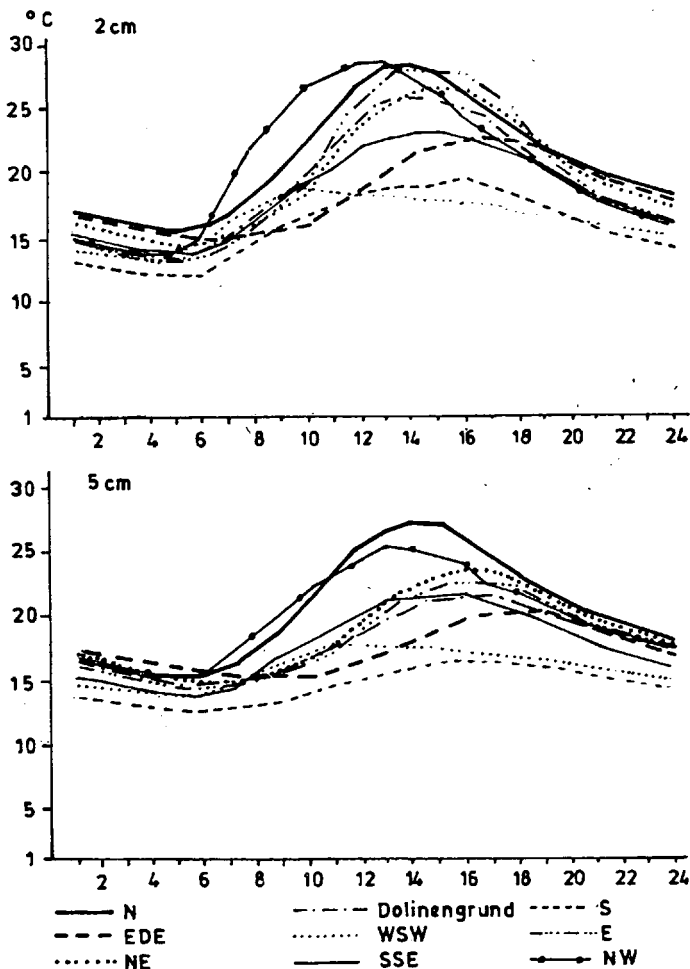


Abb. 4. Der Tagesverlauf der Bodentemperatur in 2 und 5 cm Tiefe.

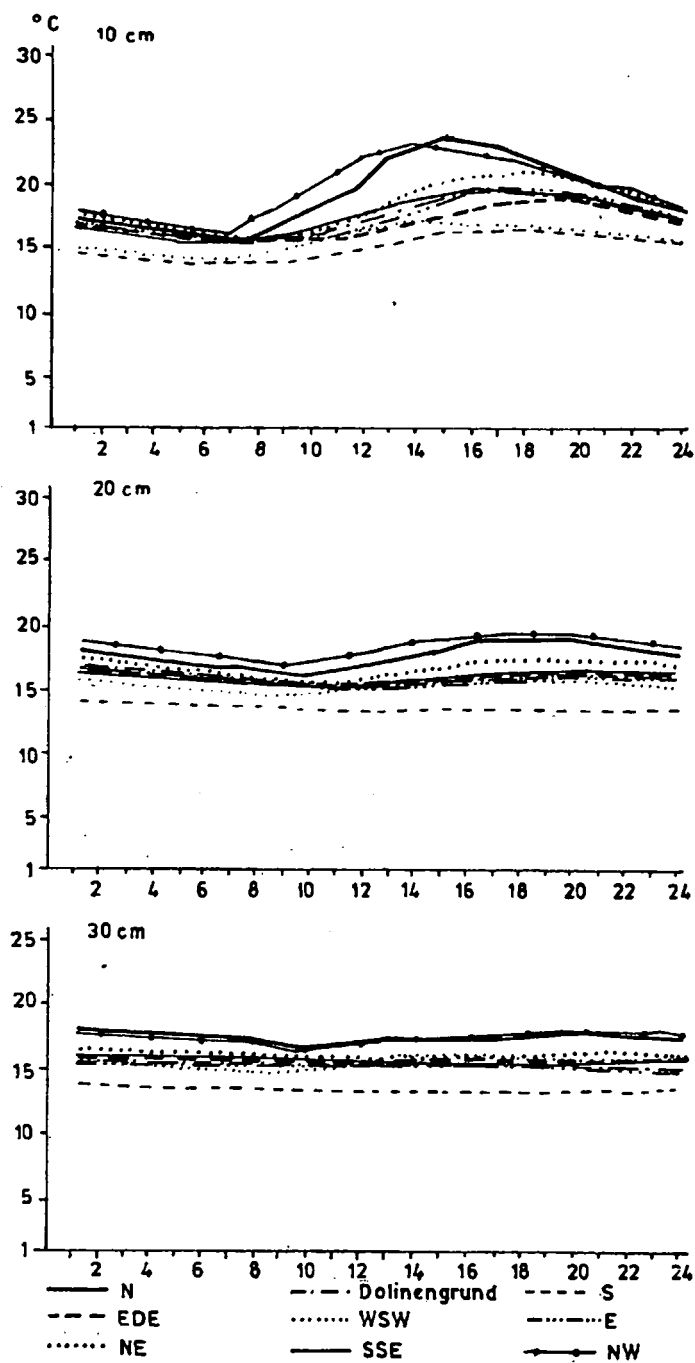


Abb. 5. Der Tagesverlauf der Bodentemperatur in 10, 20 und 30 cm Tiefe.

auszugleichen, die Durchschnittswerte von 5 sonnigen Tagen in der Grafik berücksichtigt (Abb. 4, 5.). In der Nähe der Erdoberfläche lassen sich durch die Exposition bedingte Differenzen deutlich erkennen. Die Phasenverschiebung zeichnet ein genaues Bild der Einstrahlungsverhältnisse (die durch die Hangneigung und die positive Breite bedingt sind) und der Abstrahlungsverhältnisse (bei denen der Schattenwurf von Bedeutung ist), also der Faktoren, die den Wärmeverkehr regeln. Aufgrund der Meßwerte vom Nord, Ost-südost-, Nordost-, West-südwest-, Süd-südost-, Süd-, Ost-, und Nordwesthang der Kurtaberger Doline haben wir die Temperaturverläufe grafisch dargestellt.

Eine intensive Erwärmung beginnt zuerst am Nordwesthang im Anschluß an die Temperaturminima der Nacht und wirkt bis in 20 cm Tiefe. An diesem Hang stellt sich auch bei Tage zuerst das Temperaturmaximum ein. Obwohl hier in 2 cm Tiefe die höchste Tagesbodentemperatur zu messen ist, die sich überhaupt für die ganze Doline als höchster Meßwert ergibt, lassen sich die Maxima tieferer Bodenschichten am Nordhang finden (in 5 bzw. 10 cm). Die Ursache dafür ist, daß der Nordhang von Süden belichtet wird und infolge der höheren Sonnenstände eine größere Wärmemenge pro Flächeneinheit anfällt und durch Wärmeabgabe die tieferen Bodenschichten stärker erwärmt werden. Gleichzeitig ist die Wärmemenge der nach Südost gerichteten Seite, die durch die Wärmeströmung in tiefere Schichten gelangt, wegen der nur kürzere Zeit zur Geltung kommenden grösseren Einfallswinkels kleiner und deshalb sind dort die Maximalwerte der Temperatur niedriger. Am Nordwesthang stellt sich das Temperaturmaximum in 2 cm Tiefe um 12.00 Uhr, am Nordhang um 14.00 Uhr ein. Und obwohl die Erwärmung am West-südwesthang beinahe zur gleichen Zeit beginnt, wie am Nordhang, ist wegen des verkleinerten Einfallswinkels und des sich recht bald einstellenden Schattenwurfes die Erwärmung nur kurzzeitig und die Temperaturwerte erreichen nicht die des Nordhangs. Temperaturverlauf auf Süd-südost und Nordwesthang stimmen in der Tendenz überein, nur liegt die Temperatur am Nordwesthang um 3,5 °C unter der des Süd-südosthangs.

Nachdem sich die Maxima am Nordwest- und Nordhang eingestellt haben, erreicht die Temperatur des Bodens in 2 cm Tiefe am Osthang ebenfalls gegen 14.00 ihren Maximalwert. Dem folgt zwischen 14.00 und 15.00 Uhr die Bodentemperatur am Nordost- und Süd-südosthang. An der Südseite stellt sich das Temperaturmaximum, das verhältnismäßig klein ist (19 °C) gegen 16.00 Uhr und gegen 17.00 Uhr an der Ost-südost Seite ein.

In den anderen Tiefen (5, 10, 20, 30 cm) ist der Temperaturverlauf ähnlich. Eine Differenz zeigt sich darin, daß die Temperaturmaxima mit einer gewissen Phasenverzögerung auftreten. Diese wird mit zunehmender Bodentiefe größer. Die Temperatur nimmt hingegen ab.

Die Untersuchung der mit der Bodentiefe anwachsenden Phasenverschiebung, die auch zwischen Hängen mit verschiedener Exposition besteht, hat ergeben, daß am Südhang (Lichteinfall von Norden) für die in die Tiefe wirkende Wärmeabgabe die meiste Zeit benötigt wird und in der Reihenfolge Ost-, Nord-, Westhang diese Zeit kürzer wird. (Bárány, 1976.)

Wann und wo die Extremwerte der Bodentemperatur (Minimum und Maximum) auftreten, hängt auch von obigen Charakteristika ab. Das Temperaturmaximum stellt sich nach unseren Berechnungen zuerst am Westhang, dann am Nordhang, später am Südhang und der Südostseite ein. In 10 cm Bodentiefe erreicht die Temperatur am Osthang eher das Maximum als am Südhang.

Hinsichtlich der Orte des Temperaturminimums können in 10 und 20 cm Bodentiefe ähnliche Veränderungen beobachtet werden. Das gestattet die Schlußfolgerung, daß in dieser Bodentiefe eine Schicht sein muß, in der sich der Wärmeaustausch, die Geschwindigkeit der Wärmeleitung ändert.

Der Temperaturverlauf am Westhang unterscheidet sich noch am ehesten von den übrigen Hängen. Hier setzt die Erwärmung mit großer Intensität ein. Die Maxima und Minima stellen sich in den verschiedenen Bodenschichten mit großer Schnelligkeit nacheinander ein. Es folgt der Nordhang mit rund einer Stunde Verspätung, an dem die Erwärmung ebenfalls intensiv aber gleichmässiger vonstatten geht und an dem die Temperaturmaxima nicht die Werte des Westhanges erreichen. Der Osthang wird stärker erwärmt, als der Westhang, da der Sonnenschein hier am Nachmittag länger dauert. Der Südhang erfährt die geringste Erwärmung. Die Phasenunterschiede zwischen den Maximalwerten sind hier am größten.

Die aufgrund des Bodentemperaturverlaufs dargestellten Eigenarten lassen sich zu verschiedenen Zeitpunkten beobachten, bzw. werden durch die Bodentemperaturisoplethen, die mit Hilfe der durchschnittlichen Temperaturen gezeichnet wurden, verdeutlicht.

R. Wagner und L. Takács (1967) haben die Eigenarten im Wärmehaushalt der aktiven Bodenschicht auch aus der Sicht der Mikrofelder gründlich untersucht. Von ihnen ist das Wärme- und Kälteniveau der Wärmeströmung bestimmt worden. Divergenzniveau nannten sie jenes, im Verhältnis wärmste Niveau, von dem sich die Wärme in 2 Richtungen ausbreitet. Das Niveau, zu dem Wärme vertikal aus zwei Richtungen strömt, also das zum jeweiligen Zeitpunkt kälteste Niveau wurde Konvergenzniveau genannt. Sie wiesen auch darauf hin, daß der Austausch, die Bewegung zwischen beiden Niveaus ein wichtiger Indikator für den Wärmehaushalt des Erdbodens ist.

Schon in früheren Studien haben wir uns mit den Bodentemperaturisoplethen der Bükkdolenen auseinandergesetzt (Bárány—Kajdócsy 1976. Bárány—Mezősi, 1979). Aufgrund der Messungen des Mikroklimas im Bükkgebirge, die in den Jahren 1961, 1969 und 1971 durchgeführt worden waren, konnten einige Feststellungen getroffen werden, die sich jeweils auf die Hänge in allen vier Himmelsrichtungen bezogen haben. Dies berücksichtigend weisen wir im weiteren aufgrund der Messungen von 1965 auf die Unterschiede hin, die durch die unterschiedliche Belichtung an den einzelnen Hängen entstehen, wobei die Isoplethen des Nord-, Nordost-, Ost-, Ostsüdost-, Südsüdost-, Süd- Westsüdwest und Nordwesthanges zu Hilfe genommen wurden (die Angaben sind der Stundendruckschnitt an 5 Augusttagen).

Bei der Analyse der Isoplethen haben wir in erster Linie die Anordnung des oben erwähnten Konvergenz- und Divergenzniveaus untersucht, da sie als Merkmal für die wärmeleitenden Prozesse im Boden gilt (Abb. 6, 7, 8.).

In den Abendstunden ist die Erdoberflächentemperatur am Nordhang verhältnismäßig höher, als an den übrigen Hängen (15° – 16° C). Das Kälteniveau (Konvergenzniveau) fällt ab 6.00 Uhr und liegt um 11.00 Uhr in einer Tiefe von 30 cm. Um 6.00 Uhr befindet sich das Divergenzniveau in 25 cm Tiefe. Die Wärme strömt von dort in die höher bzw. tiefer gelegenen Erdschichten. Um 11.00 Uhr macht sich in 30 cm Tiefe die ganze, von oben nach unten wirkende Wärmeabgabe, geltend. Nach 14.00 Uhr sinkt das Divergenzniveau. Im Bodenabschnitt lassen sich aufgrund der Isoplethen bedeutende Temperaturextreme erkennen (12° C).

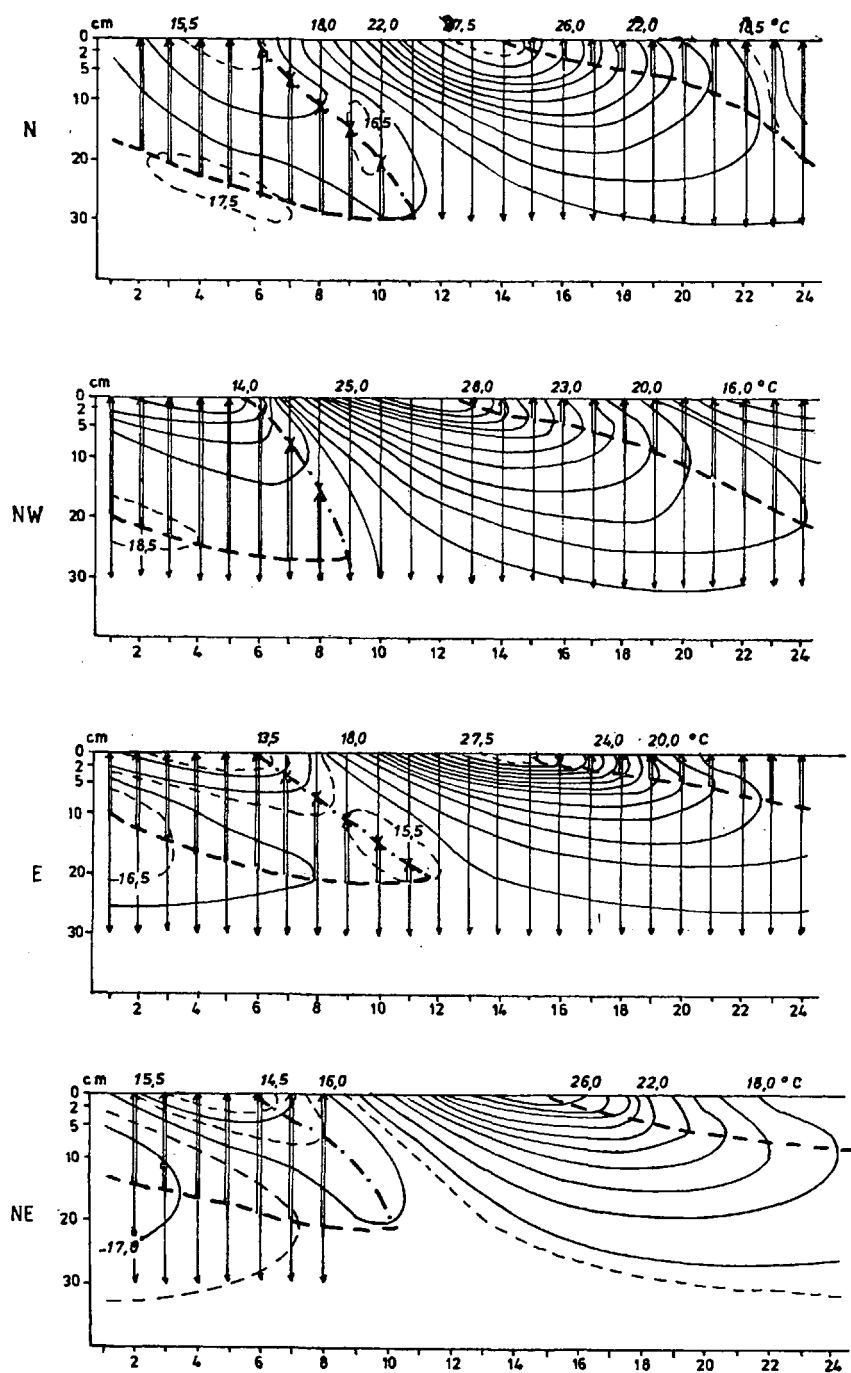


Abb. 6. Die Bodentemperaturisoplethen des Nord-, Nordwest-, Ost- und Nordosthanges.

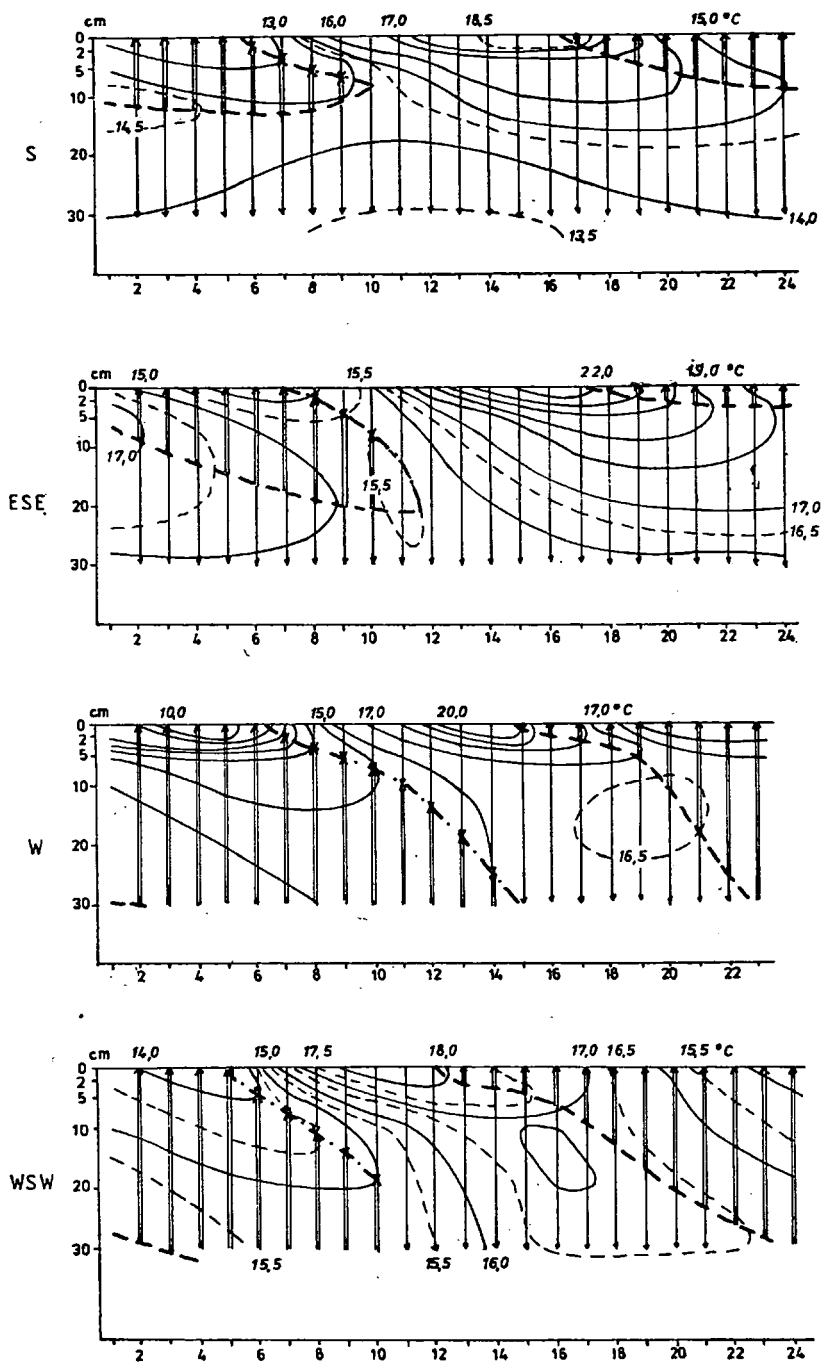


Abb. 7. Die Bodentemperaturisoplethen des Süd-, Ost-südost-, West- und West-südwesthanges.

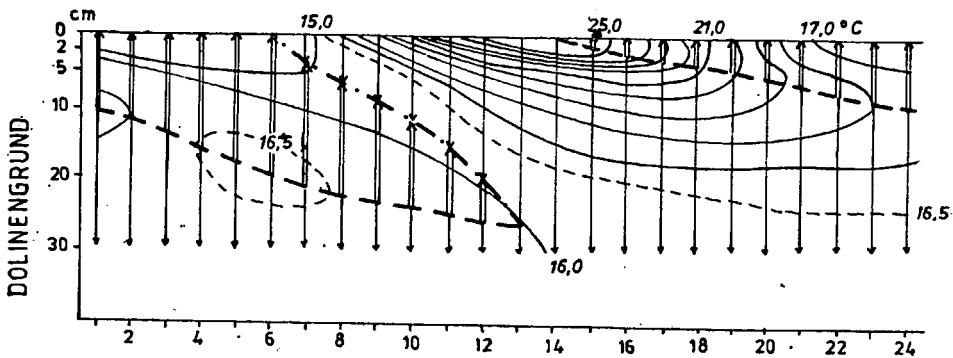


Abb. 8. Die Bodentemperaturisoplethen des Dolinengrundes.

Hier muß hinzugefügt werden, daß das Divergenzniveau hier und am Westsüdwesthang am Vortag am tiefsten gelegen war, was mit der intensiven Abstrahlung in den Oberflächenschichten erklärt werden kann.

Am Nordosthang sinkt das Divergenzniveau kaum unter die 20 cm Marke. Das Konvergenzniveau fällt an dieser Seite ab 6.00 Uhr und um 10.00 Uhr erlischt diese Aktivität. Das Divergenzniveau beginnt am Nachmittag gegen 15.00 Uhr zu fallen. Das Isoplethenextrem beträgt 11,5 °C. Die Temperatur liegt allerdings im ganzen Abschnitt um 1 bis 2 °C unter der des Nordhangs. Im Tagesverlauf gestaltet sich die Front des Kälte- und Wärmeniveaus bei zunehmender Tiefe ausserordentlich divergent.

Die Isoplethen des Osthangs zeichnen ein interessantes Bild. Die Abstrahlung setzt hier später ein und das Wärmeniveau sinkt nachts über nicht in so starkem Maße, d. h. es fällt kaum in eine Tiefe von 20 cm, ist jedoch lange Zeit, fast bis mittags 12.00 Uhr aktiv. Dementsprechend ist das Konvergenzniveau auch verhältnismäßig lange tätig. Der Wärmebilanzüberschuß, den die Sonneneinstrahlung verursacht, wirkt im untersuchten Abschnitt also schon ab 12.00 Uhr. Die Abstrahlung setzt um 15.00 Uhr ein, das Divergenzniveau fällt nur langsam. Tagsüber gestaltet sich die Erwärmung der Erdoberfläche ähnlich, wie die am Nordhang, die Temperaturen des ganzen Abschnittes liegen jedoch um 2 °C unter den Vergleichswerten, da bei Nacht die Abkühlung hier stärker ist.

Das Vortagsdivergenzniveau sinkt am Ostsüdosthang gleichmäßig. Das Konvergenzniveau fällt erst später, gegen 7.00 Uhr langsam ab, was sich dann zwei Stunden danach beschleunigt. Die hohe Nachmittagstemperatur wandert gegen 17.00 Uhr von der Oberfläche in tiefere Schichten. Ihre Wirkung ist nur in der oberflächennahen Schicht von 5 cm Tiefe zu erkennen. Die Spanne zwischen den Temperaturextremen beträgt 7 °C. Während in den vorangegangenen Fällen die Isoplethen von der tagsüber wirkenden Erwärmung in Oberflächennähe dichter werden, verteilen sie sich hier gleichmäßiger. Die Erwärmung ist im ganzen Abschnitt mäßig.

Im Vergleich zum horigen unterscheidet sich der Südsüdosthang dadurch, daß hier das Konvergenzniveau schneller sinkt und das Divergenzniveau in eine größere Tiefe vordringt.

Obwohl die Sonneneinstrahlung hier von größerer Dauer ist, gelangt weniger Sonnenenergie auf die Erdoberfläche, weil der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen klein bleibt. Die Wärmeabgabe ist auch beschränkt.

Am Südhang fällt in der Nacht das Wärmeniveau nur um 10 cm. Von diesem Divergenzniveau strömt nur wenig Wärme als Nachschub in die höher und tiefer gelegenen Bodenschichten. Das Konvergenzniveau ist auch nur für kurze Zeit aktiv. Zwar ist die Einstrahlungsdauer an diesem Abschnitt lang (6 Stunden), doch läßt der kleine Einfallswinkel der Sonnenstrahlen nur wenig Energie auf die Erdoberfläche gelangen. Das Temperaturextrem ist klein (5,5 °C).

Im Vergleich zum Nordhang zeigt sich hier noch in 30 cm Tiefe eine beachtliche Temperaturdifferenz.

An der Westsüdwest-Seite fällt das Konvergenzniveau relativ zeitig (5.00 Uhr), dementsprechend verdichten sich die Isopleten auch schon zeitig. Die Isoplete mit dem höchsten Temperaturwert in Oberflächennähe kann an diesem Hang schon für den Vormittag gezeichnet werden. Nach 12.00 Uhr kommt es wegen der Schattenbildung zur Wärmeabstrahlung und damit gleichzeitig zum Sinken des Wärmeniveaus. Der Sonnenschein dauert hier nur kurze Zeit und erwärmt nur in den frühen Vormittagsstunden die Oberfläche. Deshalb steht weniger Wärmeenergie zur Verfügung, als am Nord-oder Osthang.

Am Westhang setzt das gleichmäßige Abfallen des Konvergenzniveaus schon gegen 5.00 Uhr ein. Nach 10.00 Uhr verstärkt sich das Tempo. Das Konvergenzniveau ist bis in die frühen Morgenstunden aktiv. Um 14.00 Uhr beginnt das Divergenzniveau zu fallen. Da anfänglich zum Trocknen des Taus Wärme entzogen wird, ist zu Beginn der Erwärmung die Wärmeabgabe auch langsam. Die Isopleten verdichten sich 5 cm unter der Oberfläche.

Die Anordnung der Isopleten am Nordwesthang ähnelt in ihrer Art der des Nordhanges. Im Morgengrauen fällt an dieser Seite das Wärmeniveau des Vortages bis zu einer Tiefe von 30 cm. Am frühen Nachmittag erlischt jedoch diese Aktivität. Das Divergenzniveau des Wärmeniveaus fällt anfangs langsam, später dann in beschleunigtem Tempo. Das Temperaturextrem beträgt hier 14 °C. Für die Doline ist das der höchste Wert.

Eine Untersuchung der Isopletenanordnung im Dolinengrund ergibt, daß hier das Wärmeniveau des Vortages am längsten aktiv ist. Die Bodenschicht ist hier am stärksten und die Wärmeabgabe der einzelnen Bodenschichten am wenigsten behindert. Das Konvergenzniveau sinkt bis in den frühen Nachmittag. Die Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung dauert nur eine kurze Zeit. Bald setzt die Abstrahlung ein, ab 14.00 Uhr fällt das Wärmeniveau. Ursache dafür ist die Schattenbildung. In diesem Bodenabschnitt ist die Temperaturdivergenz von großer Wichtigkeit. Das Temperaturextrem beträgt 10 °C. Das Divergenzniveau in den tieferen Schichten ähnelt dem der Ostseite, ist aber in Oberflächennähe niedriger. Die Isopleten beweisen, wenn man sie auf den ganzen Abschnitt bezieht, daß der Nordwest- und der Nordhang hinsichtlich der Wärmeaufnahme am günstigsten gelegen sind. Die Expositionsunterschiede des Temperaturverlaufs sind bis in die obere Tiefe von 20 cm zu verfolgen. In den noch tieferen Bodenschichten ist nur noch an den nach Norden und Süden gelegenen Hängen ein großer Temperaturunterschied zu messen.

Eine Untersuchung der extremen Bodentemperaturwerte, d. h. ihrer Amplituden ist in erster Linie wegen der biogenen Prozesse unerlässlich, da diese sich auf die Vegetationszusammensetzung und auch auf die Intensität der Mikrobenaktivitäten auswirken.

Auf den *Abbildungen (9, 10, 11.)* läßt sich gut erkennen, daß in der Nordhälfte der Doline die Temperaturamplitude bedeutend größer ist, als in der Südhälfte.

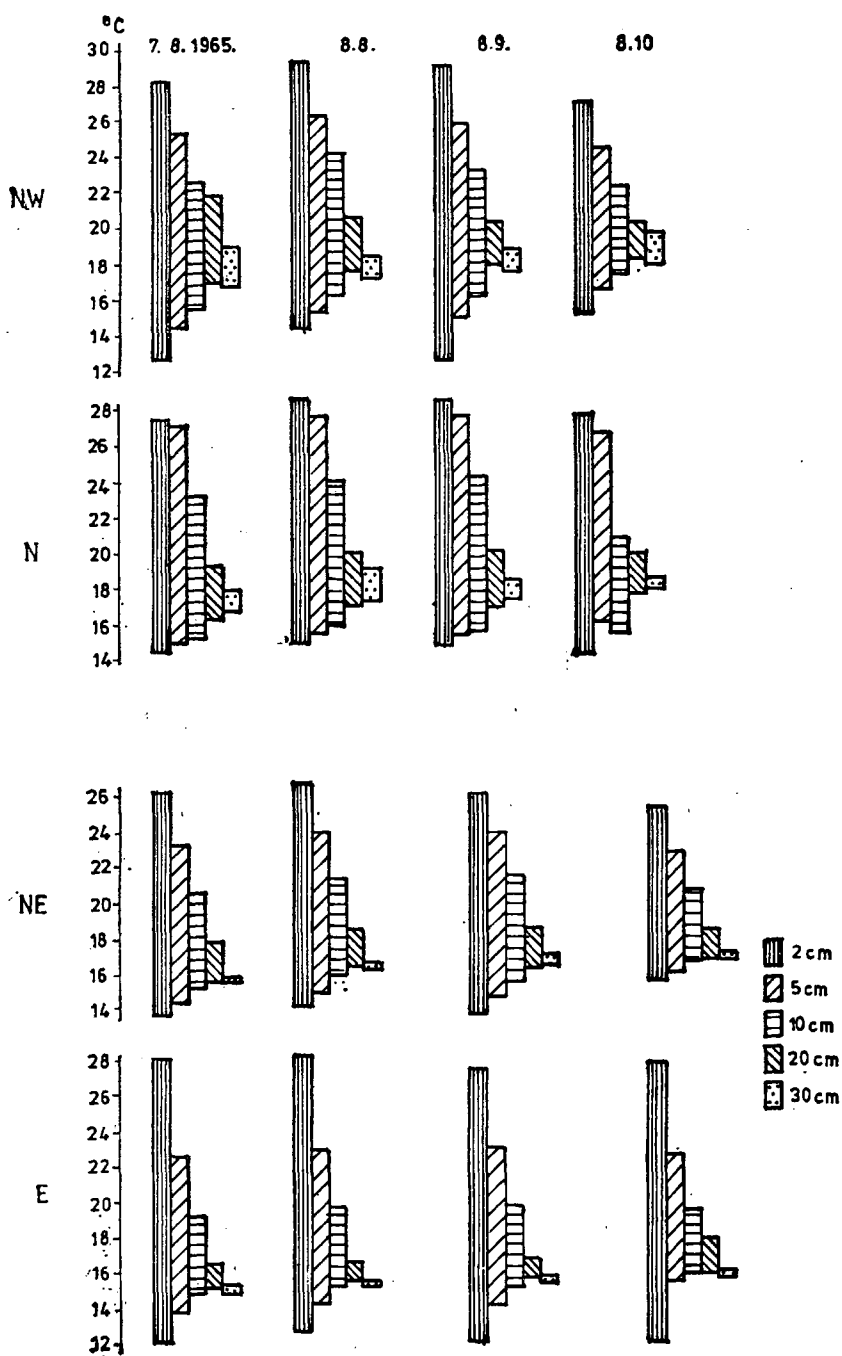


Abb. 9. Die Amplituden, Maxima und Minima der Bodentemperatur an dem Nordwest-, Nord-, Nordost- und Osthang.

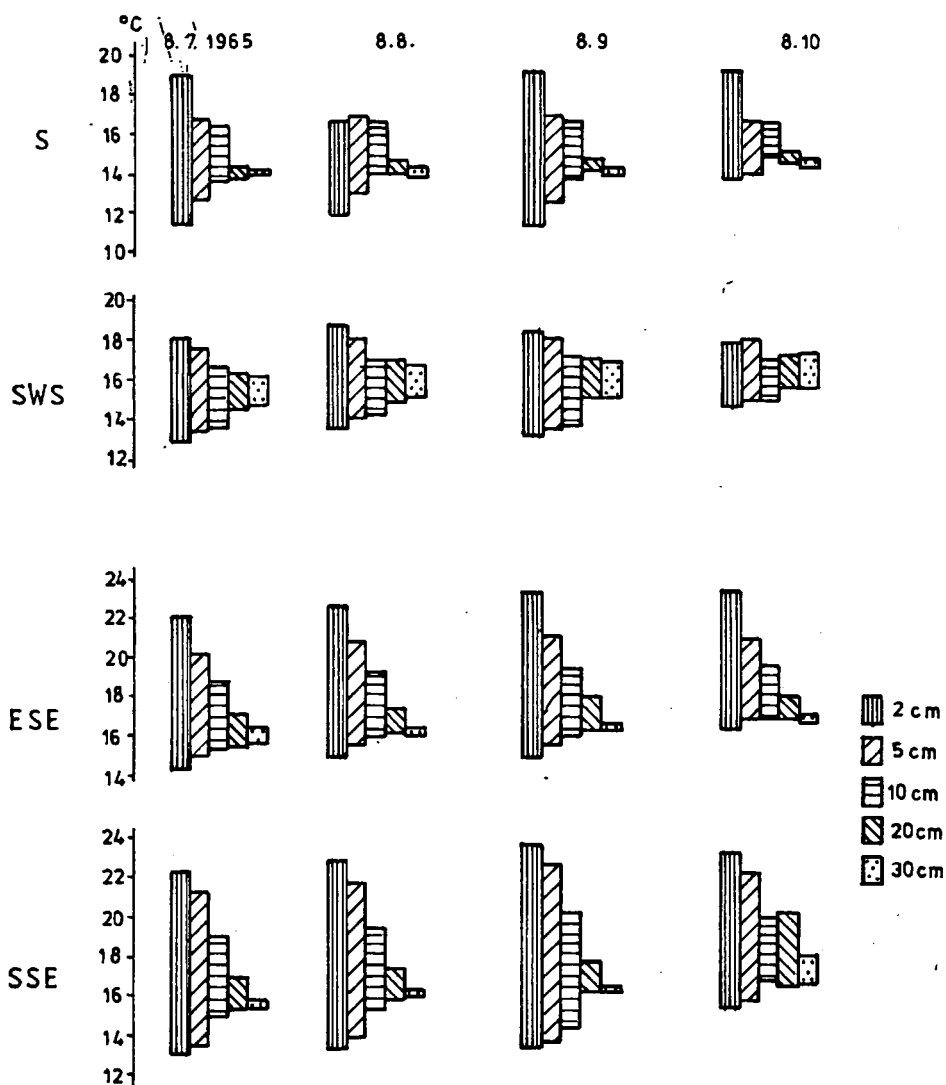


Abb. 10. Die Amplituden, Maxima und Minima der Bodentemperatur an dem Süd-, Westsüdwest-, Ostsüdost- und Südsüdosthänge.

Am Nordwesthang und am Nordhang ist sie noch in 10 cm Tiefe recht groß (7—8 °C), an den übrigen Hängen kann man nur in Tiefen von 2 bis 5 cm größere Temperaturamplituden beobachten.

Die größte Amplitudendifferenz zwischen den verschiedenen Bodentiefen läßt sich am Osthang nachweisen, wo in 2 cm Tiefe eine beinahe ebenso große Amplitude erscheint, wie am Nordhang. Dabei sind die Amplituden in 5, 10, und 20 cm Tiefe wesentlich kleiner, als am Nordhang. In der Südhälfte der Doline sind sie auch kleiner.

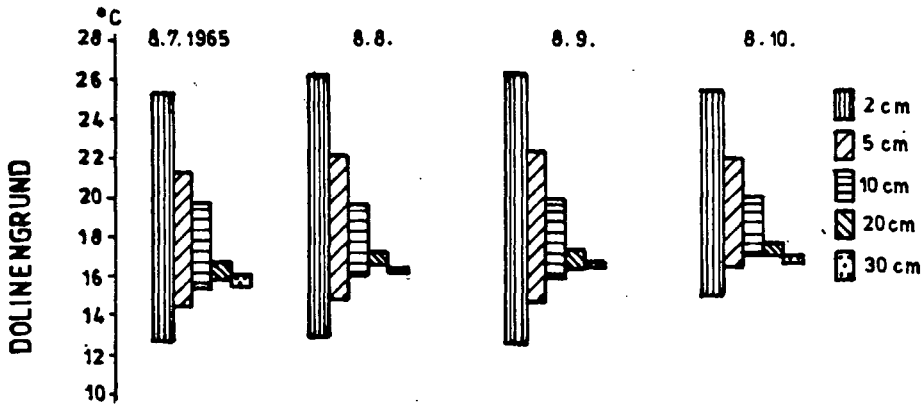


Abb. 11. Die Amplituden, Maxima und Minima der Bodentemperatur an dem Dolinengrund.

Das gilt ebenfalls für die Ost-südost- und Süd-südosthänge. Am Südhang erreicht der Amplitudenwert in 2 cm Tiefe kaum die 7 °C und nimmt mit zunehmender Tiefe noch mehr ab.

Wegen ihrer Art ragen die Extreme am West-südwesthang heraus. In 2 cm Tiefe liegt der Amplitudenwert bei 5 °C, und im Vergleich damit sind die Werte in 5, 10, 20 und 30 cm Tiefe nur etwas kleiner.

Die in 30 cm Tiefe ermittelten Amplituden bewegen sich in ähnlicher Größenordnung, jedoch nur am Nordwest und Nordhang.

Die an vier heiteren Augusttagen gemessenen Maxima und Minima, bzw. die Untersuchung der Amplituden sind also ein weiterer Beweis dafür, daß die qualitativen Merkmale der Mikroklimafaktoren verschiedener Expositionen bedeutende Abweichungen voneinander zeigen. Dadurch ist die quantitative Veränderung der im Erdboden ablaufenden Prozesse bedingt.

Wenn wir die Amplituden der in entgegengesetzter Himmelsrichtung liegenden Amplituden miteinander vergleichen, kann festgestellt werden, daß zwischen Nord- und Südhang in erster Linie Größenordnungsunterschiede auftreten. Der Unterschied ist seinem Charakter nach zwischen Ost- und Westhang bedeutend. Das weist ansich schon darauf hin, daß der Wärmehaushalt an beiden Hängen unterschiedlich ist.

Die Amplituden verändern sich im Dolinengrund mit zunehmender Tiefe wie am Osthang, die Werte liegen jedoch vergleichsweise niedriger.

Nordwest und Nordhang sind hinsichtlich der Wärmeaufnahme am günstigsten gelegen. Wenn man vom West-südwesthang ausgeht, zeigt der Temperaturverlauf im Uhrzeigersinn eine Phasenverschiebung. Der Süd- und Süd-südosthang bilden eine Ausnahme. Die Phasenverschiebung ist hier nicht so groß, wie zu erwarten wäre. Die in 20 cm Tiefe auftretenden Unterschiede in den Temperaturverläufen lassen sich auf der Graphik gut erkennen. In noch größerer Tiefe sind nur noch die Werte der Nordwest-, Nord-, und Nordost-hänge höher bzw. ist der wesentlich niedrigere Wert am Südhang auffällig.

Gleiches läßt sich bei den Temperaturminima und Maxima beobachten. Besondere Aufmerksamkeit verdient die sehr niedrige Tagestemperatur am West-südwest-

hang, an dem ähnlich niedrige Temperaturen auftreten, wie am Südhang, obwohl sie nicht im selben Zeitraum, sondern sehr viel früher zu messen sind. Wenn wir diesen Temperaturverlauf mit dem des Nordwesthangs vergleichen, finden wir 2 cm tief unter der Oberfläche ähnliche Unterschiede, wie zwischen dem Nord, bzw. Südhang. Mit zunehmender Tiefe nimmt diese Differenz zwar ab, ist aber bis in eine Tiefe von 20 cm bedeutend. In der südlichen Dolinenhälfte stellt sich das Tagesmaximum zwar zuerst, aber mit sehr niedrigem Wert ein, was durch die positive Breite der Sonne im Sommer, zu erklären ist.

Zwischen dem West, Nordwest und Westsüdwesthang ist quasi in zentraler Lage der Temperaturverlauf verglichen mit obigen Angaben in gewissen Grade ausgeglichener. Gleichzeitig muß aber festgestellt werden, daß die Temperaturverhältnisse nur in den oberen Bodenschichten bis in eine Tiefe von 10 cm abwechslungsreich sind. In den tieferen Schichten ist die intensive Wärmeabgabe der Oberfläche nur graduell wirksam.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bárány, I.* (1967): Der Einfluss des Niveauunterschiedes und der Exposition auf der Lufttemperatur in einer Doline in Bükk-Gebirge. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis*, Tom. VII. Fasc. 1—4. 85—109.
- Bárány, I.* (1976): Die Rolle des Mikroklimas in den denudativen Prozessen der verschiedenen Expositionen der Dolinen. *Proceedings of the International Symposium of Standardization of Field Research Methods of Karst Denudation (Corrosion)*. Ljubljana, 1—5. Sept., 1975.
- Bárány, I.—Kajdócsy, K.* (1976): Some Microclimatic Characteristics of the Thermalhousehold Processes in Soil of different Exposures. (Einige mikroklimatische Eigenarten der Wärmehaushalts-Prozesse im Boden an den verschiedenen Expositionen.). *Acta Geographica Szegediensis*. Tom. XVI. 57—64.
- Bárány, I.—Mezősi, G.* (1979): Further Data Concerning the Morphogenetical Evaluation of Karst Dolines in Bükk. (Weitere Angaben im Bezug auf die morphogenetische Entwicklung der Karstdolinen in Bükk-Gebirge). *Acta Geographica Szegediensis*. Tom. XIX., 106—115.
- Boros, J.—Bárány, I.* (1975): Néhány adat egy bükki töbör keleti és nyugati lejtőjének felmelegedéséhez. (Einige Angaben über die Erwärmung und Abkühlung einer Doline im Bükk-Gebirge). *Időjárás*, 79. évf. 5. füzet, 297—300.
- Gams, I.* (1974): K ekologiji vrtac. IX. Kongres Geografa Jugoslavije S. R. Bosna i Hercegovina 24—30 sept. 1972. g. Sarajevo. 1974. 151—159.
- Hoeck, E.* (1952): Der Einfluss der Strahlung und der Temperatur auf den Schmelzprozess der Schneedecke. Bern.
- OMI.* (1960): Klimaatlas von Ungarn. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Wagner, R.* (1955): A mikroklimák földrajzi elrendeződése Hosszúbércen. (Die geographische Anordnung von Mikroklimas in Hosszúbérc). *OMI XX.* kötet. 1—15.
- Wagner, R.* (1964): Lufttemperaturmessungen in einer Doline des Bükk-Gebirges. *Zeitschrift für Angewandte Meteorologie*, Band 5, Heft. 3—4. 92—99.
- Wagner, R.—Takács, L.* (1967): Vertikale Temperaturschichtung im Boden und ein mathematisches Modell derselben. I. Wagner: Temperaturzonen des Bodens. *Acta Climatologica Szegediensis*. Tom. VII. Fasc. 1—3. 3—49.